

(19)日本国特許庁(J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-283585

(43)公開日 平成6年(1994)10月7日

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>

H 0 1 L 21/66

識別記号

庁内整理番号

N 7630-4M

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 5 頁)

(21)出願番号 特願平5-67173

(22)出願日 平成5年(1993)3月26日

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72)発明者 土屋 憲彦

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地 株式会

社東芝堀川町工場内

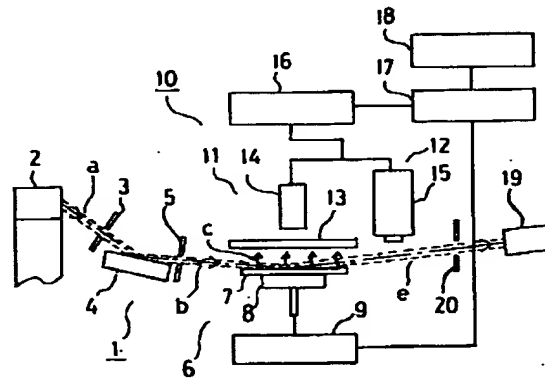
(74)代理人 弁理士 大胡 典夫

(54)【発明の名称】 半導体評価装置

(57)【要約】

【目的】 半導体ウェーハの表面の微小欠陥の評価が容易に行え、また欠陥発生箇所での不純物の対応関係を明確にし得る半導体評価装置を提供する。

【構成】 単色X線ビームbを半導体ウェーハ7の表面に全反射臨界角以下で入射させると共にブラッグ反射を起こすように回折条件に合わせるようにして回折X線cを回折X線検出器11で測定するようにしてあり、単色X線ビームbの半導体ウェーハ7表面への入射角が微小なものとなり、広い範囲への照射が可能となって表面の結晶欠陥の検出が広い範囲に亘り高い分解性能をもって行え、半導体ウェーハ7の表面の微小欠陥の評価が容易に行える。また同じ測定条件のまま切り換え測定できるようにした蛍光X線検出器12で、半導体ウェーハ7の表面からの全反射蛍光X線dのエネルギースペクトルを測定することで、結晶欠陥の発生箇所での不純物の対応関係を明確にすることができる。



1-X線ビーム放射部

8-テーブル

11-回折X線検出器

b-X線ビーム

7-半導体ウェーハ

10-検出部

12-蛍光X線検出器

c-回折X線

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 単色・平行なX線ビームを放射するX線ビーム放射手段と、半導体ウェーハを支持すると共に該半導体ウェーハの表面へ投射された前記X線ビーム放射手段からのX線ビームの入射角を調整可能な半導体ウェーハ支持手段と、前記半導体ウェーハの表面からの回折X線の検出手段とを備え、前記X線ビーム放射手段からのX線ビームが前記半導体ウェーハの表面に全反射臨界角以下で入射させると共にブラッグ反射を起こすように回折条件に合わせて前記回折X線の検出手段で回折X線を測定するようにしたことを特徴とする半導体評価装置。

【請求項2】 単色・平行なX線ビームを放射するX線ビーム放射手段と、半導体ウェーハを支持すると共に該半導体ウェーハの表面へ投射された前記X線ビーム放射手段からのX線ビームの入射角を調整可能な半導体ウェーハ支持手段と、前記半導体ウェーハの表面からの回折X線の検出器及び蛍光X線の検出器を切り換えて用いられるようにした検出手段とを備え、前記X線ビーム放射手段からのX線ビームが前記半導体ウェーハの表面に全反射臨界角以下で入射させると共にブラッグ反射を起こすように回折条件に合わせ、条件のもとで前記検出手段を切り換えることで同一の前記条件のもとで回折X線の検出器で回折X線を測定し、前記蛍光X線の検出器で全反射蛍光X線を測定するようにしたことを特徴とする半導体評価装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、半導体ウェーハの結晶欠陥や不純物等を評価する半導体評価装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来、半導体ウェーハの結晶欠陥評価に用いられるX線トポグラフィとして、ラング法やベルク・バレット法、あるいは二結晶トポグラフィ法、さらにシンクロトロン放射光と複数のモノクロメータを組み合わせた平面波トポグラフィや超平面波トポグラフィがある。

【0003】しかし、半導体ウェーハの表面近傍のデバイスの形成された領域での微小欠陥を評価する際、ラング法は透過型であるため内部の欠陥との分離が困難であるという問題がある。またベルク・バレット法は反射型であるため表面評価に向いているが、回折条件が比較的緩く微小欠陥のコントラストがつきにくく評価が難しいという問題がある。

【0004】その他の方法は、モノクロメータを用いるため強度減衰が大いいために測定時間を増加させる必要があり、こうして時間を増加させている間に回折条件からのずれが生じるという問題がある。またこれらはモノクロメータの大きさの制約等により、例えば直径6インチあるいは8インチと大口径の半導体ウェーハの全面評価は困難である。

【0005】さらに、上記の各方法では欠陥の発生箇所については明らかになるものの、その欠陥発生箇所での不純物との対応関係については、ニーズが高いにも拘らず欠陥像との対応が取れる装置がなく、欠陥発生箇所での不純物の対応関係について明確にできないのが現状である。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】上記のように従来は半導体ウェーハの表面近傍のデバイスの形成された領域での微小欠陥を評価するのが困難であり、また欠陥発生箇所での不純物の対応関係が明確にし難い状況にあった。このような状況に鑑みて本発明はなされたもので、その目的とするところは半導体ウェーハの表面の微小欠陥の評価が容易に行えるものであり、また欠陥発生箇所での不純物の対応関係を明確にし得る半導体評価装置を提供することにある。

## 【0007】

【課題を解決するための手段】本発明の半導体評価装置は、単色・平行なX線ビームを放射するX線ビーム放射手段と、半導体ウェーハを支持すると共に該半導体ウェーハの表面へ投射されたX線ビーム放射手段からのX線ビームの入射角を調整可能な半導体ウェーハ支持手段と、半導体ウェーハの表面からの回折X線の検出手段とを備え、X線ビーム放射手段からのX線ビームが半導体ウェーハの表面に全反射臨界角以下で入射させると共にブラッグ反射を起こすように回折条件に合わせて回折X線の検出手段で回折X線を測定するようにしたことを特徴とするものであり、単色・平行なX線ビームを放射するX線ビーム放射手段と、半導体ウェーハを支持すると共に該半導体ウェーハの表面へ投射されたX線ビーム放射手段からのX線ビームの入射角を調整可能な半導体ウェーハ支持手段と、半導体ウェーハの表面からの回折X線の検出器及び蛍光X線の検出器を切り換えて用いられるようにした検出手段とを備え、X線ビーム放射手段からのX線ビームが半導体ウェーハの表面に全反射臨界角以下で入射させると共にブラッグ反射を起こすように回折条件に合わせ、検出手段を切り換えることで同一の条件のもとで回折X線の検出器で回折X線を測定し、蛍光X線の検出器で全反射蛍光X線を測定するようにしたことを特徴とするものである。

## 【0008】

【作用】上記のように構成された半導体評価装置は、半導体ウェーハの表面へ投射された単色X線ビームの入射角を調整可能とし、さらに半導体ウェーハの表面からの回折X線を検出するようにしておき、単色X線ビームを半導体ウェーハの表面に全反射臨界角以下で入射させると共にブラッグ反射を起こすように回折条件に合わせて回折X線を検出・測定するようにしたことにより、X線ビームの半導体ウェーハ表面への入射角が微小なものとなり、広い範囲への照射が可能となって表面の結晶欠陥

の検出が広い範囲に亘り高い分解性能をもって行え、半導体ウェーハの表面の微小欠陥の評価が容易に行える。また同じ測定条件のままで回折X線の検出から蛍光X線の検出に切り換えられるようにし、半導体ウェーハの表面からの全反射蛍光X線を測定するようにして蛍光X線のエネルギースペクトルを測定することで、結晶欠陥の発生箇所での不純物の対応関係を明確にすることができる。

【0009】

【実施例】以下、本発明の一実施例を図1乃至図3を参照して説明する。図1は回折X線の検出状態を示す概略構成図であり、図2は蛍光X線の検出状態を示す概略構成図であり、図3は表面不純物の分布状態を示す図である。

【0010】図1において、1はX線ビーム放射部で、これはタングステン(W)回転対陰極とランタンヘキサボライト(LaB<sub>6</sub>)の結晶でなる大きさが0.2mm×20mmのラインフィラメントを有し、加速電圧が60kVでフィラメント電流が500mAで作動して白色X線aを放射するX線源2を備えており、さらにX線源2からのX線の放射方向に第1のスリット3と、この第1のスリット3を通過し入射したX線によって特性X線のWLβ<sub>1</sub>(波長:λ=1.24オングストローム)を分光するシリコン(Si)完全結晶を用いたモノクロメータ4と、第2のスリット5とが順に配置されていて、第2のスリット5を通過させることによって単色・平行なX線ビームbをX線ビーム放射部1外に放射するように構成されている。

【0011】また、6は半導体ウェーハ支持部で、X線ビーム放射部1が放射する単色・平行なX線ビームbが入射する位置に評価対象の半導体ウェーハ7(シリコンウェーハ)が配置されるように、その半導体ウェーハ7をテーブル8上に支持するようになっており、テーブル8は半導体ウェーハ7を支持した状態で制御駆動装置9によって所定の姿勢や位置を取るよう制御されると共に座標制御が行われるようになっている。

【0012】さらに、10は半導体ウェーハ7からの回折X線c及び蛍光X線dをそれぞれ測定する検出部で、この検出部10は回折X線検出器11と蛍光X線検出器12を備え、両検出器11、12は図示しない切換機構によって切り換えることでテーブル8上に支持された半導体ウェーハ7の上表面にそれぞれ対向するようになっている。なお回折X線検出器11は半導体ウェーハ7の上表面に所定間隔を持って対向する原子核乾板13と、比例計数管14を備えて構成される2次元検出器であり、蛍光X線検出器12は同じく半導体ウェーハ7の上表面に所定間隔を持って設けた半導体検出器等の固体検出器(SSD)15を備えている。

【0013】そして回折X線検出器11と蛍光X線検出器12には計数回路16が接続されていて、この計数回

路16を介して両検出器11、12の検出力は制御駆動装置9からのテーブル8の座標制御結果と共にコンピュータ17に入力され所定の演算処理がなされ、さらに処理結果が判断部18に入力されて測定評価が行えるようになっている。

【0014】また、19はシンチレーションカウンタで、テーブル8上の半導体ウェーハ7の上表面に投射されたX線ビーム放射部1からのX線ビームbの反射X線eが第3のスリット20を経て入射するようになっている。そしてこのシンチレーションカウンタ19で全反射X線eをモニタすることによってX線ビームbの半導体ウェーハ7上表面への入射角の微調整が行われる。すなわち入射角の微調整はシンチレーションカウンタ19でのモニタ結果にもとづきを制御駆動装置9によって行われる。

【0015】なお、半導体ウェーハ7を支持するテーブル8の姿勢や位置等を制御する制御駆動装置9をコンピュータ17に接続し、またシンチレーションカウンタ19も接続し、それぞれテーブル8の姿勢や位置等の情報及び全反射X線eのモニタ結果をコンピュータ17に入力して、その演算結果によって半導体ウェーハ7が所定の姿勢や位置等を取るようテーブル8を制御するようにしてもよい。

【0016】次に、このような構成での半導体ウェーハ7の結晶欠陥検出について説明する。まず、特性X線のWLβ<sub>1</sub>のシリコンに対する全反射臨界角が0.18度であるので、X線ビーム放射部1からのX線ビームbの半導体ウェーハ7上表面への入射角を全反射臨界角以下の0.06度になるように、シンチレーションカウンタ19で全反射X線eをモニタしながら制御駆動装置9でテーブル8の姿勢や位置の制御を行う。そしてブラッグ反射、すなわち422非対称反射(Bragg角=35.32度)の回折条件(ブラッグ条件)を満たすようにする。

【0017】ここで検出部10の回折X線検出器11を切換機構を作動させることによって半導体ウェーハ7の上表面に対向配置するようにする。そして半導体ウェーハ7上表面へX線ビームbを入射させ、これによって上表面から放射される回折X線cを原子核乾板13に露光させる。続いて露光した原子核乾板13の像を現像しトポグラフを得、半導体ウェーハ7の評価を行う。

【0018】この時、例えばX線ビーム放射部1から半導体ウェーハ7までの距離aをa=1mにとり焦点サイズsをs=0.2mmにすると、原子核乾板13はX線ビームbの半導体ウェーハ7上表面への入射角が微小なものであるため、半導体ウェーハ7との間隔bをb=5mmまで近付けることができる。このため、この場合の像の分解能はb・s/a=1μmの十分に高い分解能となり、微小欠陥についても評価することができる。また単色化・平行化されているX線ビームbが、幅が50μ

5

mの第2のスリット5を経て半導体ウェーハ7の上表面に入射角0.06度で入射するとき、半導体ウェーハ7上表面で48cmまで広がり、面に垂直な方向には20mmの焦点から1mを経た位置での角度広がりです。十分広い範囲への照射ができ、例えば直径6インチあるいは8インチと大口径の半導体ウェーハ7上表面の全面照射ができる。

【0019】次に、同じ半導体ウェーハ7の不純物検出について図2により説明する。半導体ウェーハ7には、欠陥検出の場合と同じようにX線ビーム放射部1からのX線ビームbを全反射臨界角以下の入射角0.06度で半導体ウェーハ7上表面へ入射させた状態にしておく。そして切換え機構を作動させることによって検出部10の蛍光X線検出器12を回折X線検出器11に換えて半導体ウェーハ7の上表面に対向配置するようにする。そして半導体ウェーハ7上表面へX線ビームbを入射させ、固体検出器15で半導体ウェーハ7の上方を面方向に走査することによって半導体ウェーハ7の各点で蛍光X線dのエネルギースペクトルを測定し、全反射蛍光X線分析を行う。

【0020】走査は、固体検出器15を例えば1cmステップで移動するようにして行い、各点で検出される不純物原子の数をカウントし、その計数結果を計数回路16で積算して非破壊状態で不純物分布を求め、予め設定した基準との対比を行うことで半導体ウェーハ7の評価を行う。

【0021】ここで装置の動作を確認するため、半導体ウェーハ7（シリコンウェーハ）を鉄（Fe）で故意に局所汚染した後、1000℃の酸素（O<sub>2</sub>）雰囲気中で熱処理を行い、上述の装置で半導体ウェーハ7の表面の結晶欠陥の検出を行ったところ、30分間の原子核乾板13への露光で得られたトポグラフで十分な高分解能での結晶欠陥の識別が行えた。また半導体ウェーハ7上表面へのX線ビームbの入射条件を同じに設定したまま、検出部10の蛍光X線検出器12を回折X線検出器11に切り換えて不純物検出を行った。その結果、図3に示すような不純物分布が得られ、結晶欠陥の発生部位と不純物分布が高い部位の対応が確認でき、それが故意に汚染した部位に一致していることが確認できた。

【0022】このように本実施例によれば、半導体ウェーハ7表面の微小欠陥の評価が容易に行えるものであり、また半導体ウェーハ7の結晶欠陥検出と不純物検出が半導体ウェーハ7の位置を変えず同一の設定条件のまま非破壊状態で行うことができるため、欠陥発生箇所での不純物の対応関係を明確にすることができる。そして、例えば半導体デバイスプロセスのインライン管理に適用し、プロセス欠陥の早期発見、不良プロセス改善へのフィードバック迅速化でき、デバイスの製造歩留や信頼性の大幅な向上が行える。

6

【0023】尚、上記の実施例においては対陰極としてタングステンを用い、X線ビームbの半導体ウェーハ7上表面への入射角を0.06度にとったがこれに限るものではなく、対陰極として銅（Cu）、モリブデン（Mo）、銀（Ag）等の材料を用いて上述とは異なる反射を選択するようにし、入射角を全反射臨界角以下の微小角に設定してX線全反射とX線回折が同時に生じるような条件に設定すればよく、要旨を逸脱しない範囲内で適宜変更して実施し得るものである。

【0024】

- 20 【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明によれば半導体ウェーハの表面の微小欠陥の評価が容易に行えると共に、欠陥発生箇所での不純物の対応関係を明確にすることができるようになる等の効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例における回折X線の検出状態を示す概略構成図である。

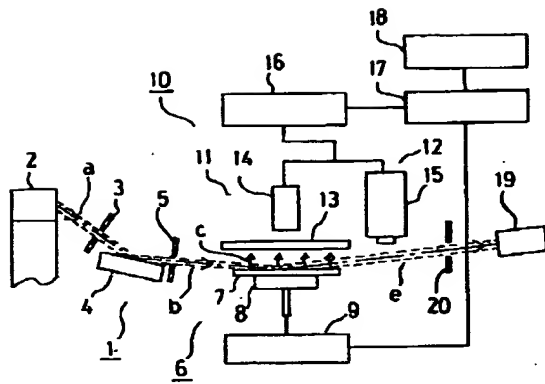
【図2】本発明の一実施例における蛍光X線の検出状態を示す概略構成図である。

- 30 【図3】表面不純物の分布状態を示す図である。

【符号の説明】

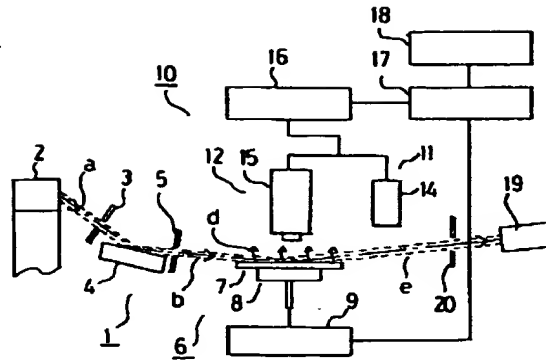
- 1…X線ビーム放射部  
7…半導体ウェーハ  
8…テーブル  
10…検出部  
11…回折X線検出器  
12…蛍光X線検出器  
b…X線ビーム  
c…回折X線  
40 d…蛍光X線

【図1】



- 1—X線ビーム放射部      7—半導体ウェーハ  
 8—テーブル              10—検出部  
 11—回折X線検出器      12—蛍光X線検出器  
 b—X線ビーム            c—回折X線

【図2】



【図3】

